Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 4, Winter. 2019, p. 807-819

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷، ص. ۸۱۹-۸۰۷

بررسی اثرات تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر رشد و پارامترهای فیزیولوژیک چهار رقم کلزای بهاره

حمید محمدی[1]*- رقیه جوادزاده[2]- بهمن پاسبان اسلام[3]- لاله پرویز[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۳۰

چکیده

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که رشد و نمو گیاهان را محدود می‌کند اما اسید سالیسیلیک هورمون طبیعی است که رشد را کنترل نموده و باعث القاء تحمل به تنش‌های کمبود آب در گیاهان می‌شود. بدین منظور مطالعه‌ای بر روی چهار رقم کلزای بهاره (ظفر، زرفام، دلگان و RGS003) به‌صورت اسپلیت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار تحت تأثیر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (صفر و ۱۵۰ پی‌پی‌ام) و تنش خشکی (عدم تنش، قطع آبیاری در مرحله گلدهی و در مرحله خورجین‌دهی) در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان‌شرقی اجرا شد. نتایج نشان داد که قطع آبیاری در مرحله گلدهی اثرات منفی شدیدتری بر عملکرد دانه و صفات فیزیولوژیک در مقایسه با قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی داشت. قطع آبیاری در هر دو مرحله منجر به کاهش محتوای کلروفیل a، b، کل و افزایش معنی‌دار محتوای H_2O_2 و MDA گردید، همچنین ارقام زرفام و RGS003 بیشترین محتوای کلروفیل و کمترین محتوی H_2O_2 و MDA را داشتند. محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک به‌ترتیب منجر به افزایش ۳۱/۷۹، ۱/۴۱و ۷/۳۳ درصدی محتوای پرولین، کربوهیدرات محلول برگ و روغن بذر و کاهش ۲۱/۱۶ و ۱۸/۶۷درصدی محتوای MDA و H_2O_2 شد. همچنین نتایج نشان داد که محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک منجر به افزایش ۳۱/۹۶ درصدی عملکرد دانه تحت شرایط تنش خشکی در مرحله خورجین‌دهی گردید. در کل، تیمار با سالیسیلیک اسید توانست تا حدی اثرات منفی تنش را برطرف نماید و حتی منجر به بهبود عملکرد و بقیه صفات شود.

واژهای کلیدی: رشد، سالیسیلیک اسید، شاخص‌های آسیب، عملکرد، قطع آبیاری

مقدمه

کلزا (*Brassica napus*) پس از سویا (*Glycine max*) و نخل روغنی (*Elaeis guineensis*)، با ۱۳/۹ درصد رتبه‌ی سوم تولید روغن جهان را به خود اختصاص داده است (FAO, 2011). گسترش کلزا بیش از سایر محصولات می‌باشد به طوری که در ۱۵ سال گذشته تولید سالیانه‌ی کلزا ۷۰ درصد افزایش یافته ولی در سویا این افزایش فقط ۴ درصد بوده است (Downey, 1990). دانه‌ی آن ۴۸-۴۲ درصد روغن داشته که دارای کمترین میزان روغن اشباع (۶ درصد) نسبت به سایر روغن‌های حیوانی و گیاهی می‌باشد (Vermorel, 1986). کنجاله‌ی آن ۳۷ درصد پروتئین دارد و پروتئین مناسبی برای تغذیه‌ی دام و ماکیان می‌باشد. میزان گلوکوزینولات در کنجاله بدون روغن کمتر از ۳۰ میکرو مول بر گرم است (Vermorel, 1986). کلزا نیز همانند بسیاری از گیاهان زراعی از تنش خشکی متأثر می‌شود. کمبود آب در کلزا همراه با کاهش پتانسیل آب برگ باعث افت تورم سلولی، هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز گردیده و در نهایت به رشد و تولید محصول صدمه می‌زند (Kumar and Singh, 1998). زمان بروز تنش خشکی و شدت آن بر بسیاری از صفات کلزا نظیر ارتفاع بوته، وزن خشک بوته، اجزای عملکرد مثل تعداد و طول خورجین، تعداد دانه در خورجین و وزن دانه‌ها اثر گذاشته و موجب کاهش عملکرد نهایی دانه می‌گردد، بنابراین بررسی پاسخ ارقام مختلف نسبت به تنش کمبود آب در مراحل فیزیولوژیک حساس رشد گیاه برای گزینش ارقام متحمل به خشکی بسیار با ارزش است (Sheikh *et al.*, 2005). محققین ویژگی‌های فیزیولوژیکی متعددی مانند، مقدار آب نسبی، دمای تاج پوشش برگی و مساحت خورجین را

۱، ۲ و ۴- به‌ترتیب دانشیار، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زراعت و استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران
۳- دانشیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان‌شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: hmohammadi@azaruniv.edu)
DOI: 10.22067/gsc.v16i4.70532

برای ارزیابی ژنوتیپ‌های کلزا در تحمل به خشکی به‌کار برده‌اند (Singh *et al.*, 1985).

خشکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی هستند که تولید محصولات زراعی را به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک با الگوی بارندگی نامنظم محدود می‌کنند. گیاهان از طریق تغییر متابولیسم سلولی‌شان و مکانیسم‌های دفاعی مختلف می‌توانند به تنش رطوبتی واکنش نشان داده و سازگار شوند (Bohnert and Jensen, 1996). کاهش اثرات مضر تنش خشکی و یا مقاوم ساختن گیاهان به تنش خشکی می‌تواند نقش مهمی در فائق آمدن بر موانع تولید محصولات زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک داشته باشد. سالیسیلیک اسید (SA) یکی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی است که در رشد و نمو گیاه، واکنش به تنش‌های محیطی، جوانه‌زنی،عملکرد میوه و گلدهی نقش دارد (Qaiser *et al.*, 2010; Khan *et al.*, 2015). مطالعات نشان می‌دهد که SA در بسته شدن روزنه از طریق تولید ROS نقش دارد، که به‌واسطه‌ی یک واکنش کاتالیز شده با پراکسیداز تعدیل می‌شود (Mori *et al.*, 2001) و غیر فعال‌سازی کانال پتاسیمی یک طرفه‌ی درونی را تنظیم می‌کند (Khokon *et al.*, 2011). نتایج محققین نشان می‌دهد غلظت‌های زیاد SA مورد استفاده (۰/۵ میلی‌مولار)، تحمل خشکی گیاهان ذرت را کاهش می‌دهد (Németh *et al.*, 2002). با این وجود، گزارشات متعددی نیز نشان می‌دهند که SA، تحمل به خشکی را افزایش می‌دهد. مصرف استیل سالیسیلیک اسید در حدود ۰/۱ تا ۱ میلی‌مولار از طریق خیساندن بذر یا اسپری برگی، باعث حفاظت گیاهچه‌های تیل یا خربزه تخم قندی (*Cucumis melo*) در برابر تنش خشکی می‌شود (Korkmaz *et al.*, 2007). به‌طور مشابه خیساندن بذور گندم درppm ۱۰۰ استیل سالیسیلیک اسید مقاومت گیاه را به تنش خشکی افزایش داد (Hamada and Al-Hakimi, 2001).

با توجه به اهمیت گیاه کلزا در تأمین احتیاجات غذایی به‌ویژه روغن و از طرفی اثرات منفی تنش خشکی بر رشد و عملکرد این گیاه، نیاز به تحقیقات در زمینه کاهش اثرات تنش خشکی بسیار ضروری به نظر می‌رسد. هرچند تحقیقات متعددی بر نقش سالیسیلیک اسید در گیاهان زراعی انجام شده است اما در مورد محلول‌پاشی این ترکیب مهم و با صرفه اقتصادی روی کلزای بهاره تحت شرایط تنش خشکی در مراحل بسیار مهم و حساس گزارش‌های اندکی صورت گرفته است. بنابراین، ارزیابی محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر رشد و شاخص‌های فیزیولوژیک چهار رقم کلزای بهاره تحت شرایط فاریاب و تنش خشکی از اهداف اصلی این آزمایش بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثرات سالیسیلیک اسید و تنش خشکی بر رشد، عملکرد و برخی پارامترهای فیزیولوژیک چند رقم کلزای بهاره، آزمایش مزرعه‌ای در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان‌شرقی به‌صورت اسپلیت اسپلیت پلات در سه تکرار اجرا شد پلات اصلی شامل سه سطح مختلف آبیاری (آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله‌ی گل‌دهی، قطع آبیاری در مرحله‌ی خورجین‌دهی)؛ پلات فرعی شامل محلول‌پاشی غلظت‌های متفاوت سالیسیلیک اسید (صفر و ۱۵۰ پی‌پی‌ام) و پلات فرعی فرعی شامل چهار رقم کلزای بهاره (ظفر، زرفام، دلگان و RGS003) بودند. هر کرت از چهارردیف با فاصله ۳۰ سانتی‌متر و به طول پنج متر تشکیل شده بود و فاصله بوته‌ها روی ردیف در هفت سانتی‌متر تنظیم شدند (در هر کرت ۲۸۰ بوته). کاشت در اول اردیبهشت ماه به صورت خشکه‌کاری انجام گرفت. کوددهی مزرعه با استفاده از اوره (۷۰ کیلوگرم در هکتار در مرحله بعد از ساقه‌دهی) بر مبنای نتیجه آزمون خاک صورت گرفت (Pasban Eslam, 2014). خاک مزرعه مورد آزمایش که دارای بافت لوم شنی با هدایت الکتریکی ۱/۳۵ دسی‌زیمنس بر متر، pH ۷/۷، مجموع آنیون‌ها ۲۱/۸، مجموع کاتیون‌ها ۲۲/۴ در عمق صفر تا ۶۰ سانتی‌متر بود. میانگین بارندگی سالیانه، ۲۷۰ میلی‌متر بود. برای اعمال تیمار آبیاری، با نمونه‌برداری مداوم و اندازه‌گیری رطوبت خاک به صورت وزنی، آبیاری تیمارهای تنش به هنگام تخلیه ۷۵-۷۰ درصد آب قابل استفاده خاک و آبیاری تیمار عدم تنش به هنگام تخلیه حدود ۳۵-۳۰ درصد آب قابل استفاده صورت گرفته است (Pasban Eslam, 2014). در طول دوره اعمال تنش بارندگی مؤثر (بیش از ۵ میلی‌متر) رخ نداد ولی برای مهار بارندگی‌های احتمالی پوشش نایلونی روی کرت‌های تحت تنش پیش‌بینی شده بود که مورد استفاده قرار نگرفت. برای جلوگیری از نشت آب بین کرت‌های آبیاری و تنش، بین کرت‌ها ۲ متر و بین بلوک‌ها ۳ متر فاصله منظور شده بود. تنش خشکی در دو سطح به‌صورت قطع آبیاری در هنگام شروع گل‌دهی تا رسیدگی فیزیولوژیک (به مدت یک ماه) و رویت خورجین‌های اولیه در سطح مزرعه (رویت خورجین‌ها در طول بیش از ۵۰ درصد ساقه اصلی) تا رسیدگی فیزیولوژیک (دو هفته) اعمال شد. محلول ۱۵۰ پی‌پی‌ام سالیسیسلیک اسید در اول صبح در سه مرحله با استفاده از محلول‌پاش دستی در زمان اوایل گلدهی اعمال شد.

اندازه‌گیری صفات مربوط به عملکرد: در هنگام رسیدگی فیزیولوژیک، تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین با برداشت تصادفی از ۱۰ بوته در هر کرت شمارش شد. همچنین در هنگام رسیدگی فیزیولوژیکی گیاهان، وزن هزار دانه توزین شد. عملکرد دانه نیز با استفاده از کوادرات در انتهای دوره رشد با حذف اثرات حاشیه‌ای با برداشت کل بوته و با استفاده از خرمن‌کوب تحقیقاتی انجام گرفت.

اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک: در این آزمایش در مرحله

یک هفته بعد از محلول‌پاشی و اعمال تنش در هر مرحله (قطع آبیاری در هنگام شروع گل‌دهی تا رسیدگی فیزیولوژیک و رویت خورجین‌ها در طول بیش از ۵۰ درصد ساقه اصلی تا رسیدگی فیزیولوژیک)، در ساعت ۷ صبح ۱۳ برگ جوان و توسعه‌یافته از بالای پوشش گیاهی از ردیف میانی هر کرت برداشت و برای انجام آزمایش‌های بعدی با یخ به آزمایشگاه منتقل گردید که سه برگ برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ در نظر گرفته شد و بقیه نیز سریعاً در نیتروژن مایع فریز شده و تا زمان اندازه‌گیری صفات در یخچال ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

محتوای نسبی آب برگ (RWC): برای اندازه‌گیری این صفت، بعد از توزین وزن تر (FW) و وزن برگ‌ها در شرایط اشباع رطوبتی (TW)، درآون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک گردیده و مجدداً توزین شدند و وزن خشک برگ‌ها محاسبه گردید (DW) و در نهایت به‌وسیله معادله زیر محاسبه شد (Barr and Weatherley, 1962).

$$RWC = \frac{F_W - D_W}{T_W - D_W} \times 100$$

محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی: ابتدا ۰/۱ گرم از نمونه‌های پودر شده با استفاده از نیتروژن مایع با ترازوی دقیق توزین و در هاون چینی ریخته و حلال استون۸۰ درصد را به آن اضافه، کاملاً حل نموده و در فالکون‌ها ریخته و با ورتکس مخلوط کرده و با سانتریفیوژ با دور ۵۰۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه، روشناور را برداشته و در نهایت میزان جذب نور را در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر قرائت شد. سپس اعداد خوانده شده توسط اسپکتروفتومتر، با استفاده از نموگرام بر حسب میلی‌گرم در گرم ماده تر برگ بیان شد (Lichtenthaler and Wellburn, 1983).

محتوای پرولین: ۰/۱ گرم ماده‌ی تر گیاهی را با هاون خرد کرده و درون یک تیوب ریخته شد، سپس ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۰/۰۳ به آن اضافه گردید. تیوب‌ها را به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شدند. ۲ میلی‌لیتر از محلول شناور سانتریفیوژ شده را درون لوله‌های آزمایش ریخته و ۲ میلی‌لیتر اسید ناین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک‌گلاسیال به آن اضافه گردید. محلول حاصل به مدت ۱ ساعت در حمام آب گرم و در دمای ۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس برای پایان یافتن واکنش، لوله‌های آزمایش در داخل بستر یخی قرار گرفته و ۴ میلی‌لیتر تولوئن به هر لوله اضافه گردید. لوله‌های آزمایش مربوطه به مدت ۲۰ ثانیه با دستگاه ورتکس به هم زده شد. غلظت اسید آمینه‌ی پرولین آزاد نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر تعیین و در نهایت بر اساس منحنی استاندارد حاصل از غلظت‌های مختلف پرولین بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر محاسبه شد (Bates *et al*., 1973).

محتوای مالون‌دی‌آلدهید: اندازه‌گیری میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی به‌وسیله تست تیوباربیتوریک اسید (TBAT) با سنجش میزان مالون‌دی‌آلدهید انجام شد. بافت‌های تر گیاهی را بعد از پودر، در هاون چینی ریخته و به آن ۱/۵ میلی‌لیتر تری‌کلرواستیکاسید ۰/۱ درصد (TCA) اضافه کرده و به مدت ۱۰ دقیقه در دور ۱۲۰۰۰g سانتریفیوژ گردید. سپس ۰/۵ میلی‌لیتر از روشناور را برداشته و به آن یک میلی‌لیترتری کلرواستیک اسید ۲۰ درصد (TCA) حاوی ۰/۵ درصد تیوباربیتوریک اسید اضافه شد. مخلوط حاصله به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آبگرم (۹۵ درجه سانتی‌گراد) انکوبه گردید. سپس مخلوط حاصله بلافاصله در حمام یخ سرد شده و درسرعت ۱۰۰۰۰ g به مدت۱۰ دقیقه سانتیریفیوژ گردید. میزان جذب روشناوردر۵۳۲ نانومترتعیین و جذب غیر اختصاصی در۶۰۰ نانومتر از آن کسر شد. محتوای مالون دی‌آلدهید با استفاده از ضریب تصحیح $155\ mM^{-1}\ cm^{-1}$ محاسبه و بر اساس واحد نانو مول بر گرم وزن تر بیان شد (Heath and Packer, 1968).

محتوای H_2O_2: ابتدا۰/۱ گرم نمونه را خرد نموده و به آن ۵ میلی‌لیتر محلول اسید تری‌کلرواستیک یک درصد (w/v) اضافه شد. نمونه هموژنیزه شده در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول رویی سانتریفوژ شده به ۰/۵ میلی‌لیتر محلول بافر فسفات‌پتاسیم ۱۰میلی‌مولار (pH=۷) و یک میلی‌لیتر محلول یک مولار از KI اضافه خواهد گردید. محتوی H_2O_2 با توجه به نمودار استاندارد و تعیین جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر UV-VIS درطول موج ۳۹۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Velikova *et al*., 2000).

محتوای کربوهیدرات محلول: تعداد ۵ برگ جوان و توسعه‌یافته برداشت و بعد از خشک نمودن در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد، محتوای کربوهیدرات محلول در طول موج ۴۸۵ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت، و منحنی استاندارد رسم شد. سپس میزان جذب در نمونه‌های گیاهی را قرائت نموده و با قرار دادن در معادله خط مقدار آن بر حسب میلی‌گرم بر گرم ماده خشک به‌دست آمد (Sheligl, 1986).

درصد روغن دانه: بعد از برداشت بوته‌ها و جدا کردن بذور، با استفاده از حلال اتر نفت و دستگاه سوکسله اندازه‌گیری شد (AOCS, 1983).

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه 9.1 صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) و رسم نمودارها توسط نرم‌افزار Excel انجام گردید.

نتایج و بحث

محتــوای نســبی آب بــرگ: اثـر متقابـل تـنش خشـکی، محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک و ارقام هـیچ تفـاوت معنـی‌داری بـر محتوای نسبی آب برگ نداشتند ولی تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر صفت مذکور داشت (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشـان داد کـه بیشترین میزان مربوط به تیمار عدم تنش و تنش خشـکی در مرحلـه خورجین‌دهی بود و کمتـرین آن در شـرایط تـنش در مرحلـه گلـدهی به‌دست آمد (جدول ۲). گزارش شده است که به دنبال بـروز خشـکی، محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد. بالا بودن محتوای نسـبی آب برگ یکی از ویژگی‌های مؤثر در تداوم رشد کلزا تحت شرایط کمبـود آب می‌باشد. مقدار بالاتر آن می‌تواند عامل اسـتمرار رشـد در شـرایط خشکی باشد (Komar and Singh, 1998). چنانچه محتوای نسـبی آب برگ بالا باشد، گیاه تورم سلولی خـود را حفـظ کـرده و رشـد آن تداوم می‌یابد (Roa and Mendham, 1991).

محتوای کربوبوهیدرات محلول: نتایج نشـان داد کـه هـیچ کدام از اثرات متقابـل بـر محتـوی کربوهیـدرات‌هـای محلـول بـرگ معنـی‌دار نشـدند ولـی محلـول‌پاشـی بـا اسـید سالیسـیلیک تـأثیر معنی‌داری بر این صفت داشت (جدول ۱). محلـول‌پاشـی بـا اسـید سالیسیلیک باعث افزایش ۱/۴۱ درصدی این صـفت شـد (جـدول ۲). مطالعات نشان می‌دهد که کاربرد خـارجی اسـید سالیسـیلیک در ذرت منجر به افزایش محتوای کربوهیدرات و در نتیجه عملکـرد مـی‌شـود (Khodary, 2004).

محتوای پرولین: نتایج نشان داد که هیچ‌کدام از اثرات متقابـل از لحاظ این صفت معنی‌دار نشدند ولی محلول‌پاشی تأثیر معنـی‌داری بر روی این صفت داشت (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک باعـث افـزایش ۳۱/۷۹ درصـدی این صـفت شـد (جـدول ۲). حسـین و همکـاران (Hussein *et al.*, 2007) در بوته‌هـای گنـدم محلـول‌پاشـی شـده بـا SA، افـزایش در محتوای پرولین را مشاهده نمودنـد. مطالعـات دیگـری نیـز حـاکی از افزایش محتوای پرولین در شرایط تـنش خشـکی در کلـزا مـی‌باشـد (Moradshahi *et al.*, 2004). تطابق روند افزایش غلظت پرولین بـا عملکرد نشان‌دهندهٔ توانایی نسبی گیاه در تنظیم اسمزی می‌باشد.

محتوای پراکسیدهیدروژن و مـالون‌دی‌آلدهیـد: نتـایج نشان داد کـه اثـر متقابـل تـنش خشـکی و محلـول‌پاشـی بـا اسـید سالیسیلیک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر محتـوی پراکسید هیدروژن داشتند. همچنین ارقام تفاوت قابل تـوجهی از ایـن نظر داشتند (جدول ۱). تنش خشکی به‌ویژه در مرحله گلـدهی باعـث افزایش معنی‌دار پراکسید هیدروژن گردید ولی محلول‌پاشـی بـا اسـید سالیسیلیک باعث کاهش معنی‌دار محتوای پراکسیدهیدروژن در هر دو مرحله اعمال تنش گردید (۱۳/۷۱ و ۱۸/۶۷درصد کاهش به‌ترتیـب در مرحله گلدهی و خورجین‌دهی) و (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌هـا نشان داد که رقم دلگان دارای بیشترین محتوای پراکسـیدهیدروژن و سایر ارقام کمترین میزان را داشتند (جدول ۲).

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در چهار رقم کلزای بهاره تحت تنش خشکی و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک

Table 1- Analysis of variance (ANOVA) of studied traits in four spring cultivar canola under drought stress and spraying with salicylic acid

منابع تغییرات (Source)	درجه آزادی d.f	محتوای نسبی آب Relative water content	محتوای کربوهیدرات محلول Soluble carbohydrate content	محتوای پرولین Proline content	محتوای پراکسید هیدروژن H_2O_2 content	محتوای مالون‌دی‌آلدهید MDA content
بلوک	2	42.88^{ns}	0.11^{ns}	408.08^{*}	0.463^{*}	0.18^{*}
فاکتور a (تیمار آبیاری) (Factor a) (Irrigation treatment)	2	282.95^{**}	0.40^{ns}	7039.08^{**}	14.424^{**}	12.48^{**}
اشتباه a (a error)	4	31.47	0.29	505.18	0.082	0.25
فاکتور b (محلول‌پاشی با SA) (Factor b) (Spray with SA)	1	43.36^{ns}	2.23^{**}	945.78^{**}	0.894^{**}	2.31^{**}
a × b	2	14.61^{ns}	0.27^{ns}	192.98^{**}	0.157^{**}	0.26^{**}
اشتباه b (b error)	6	2.59	0.05	16.53	0.008	0.01
فاکتور c (ارقام) (Factor c) (Cultivars)	3	43.49^{ns}	0.13^{ns}	16.41^{ns}	0.129^{**}	0.42^{**}
a × c	6	10.62^{ns}	0.16^{ns}	35.11^{ns}	0.029^{*}	0.09^{**}
b × c	3	5.40^{ns}	0.07^{ns}	31.46^{ns}	0.009^{ns}	0.12^{**}
a × b × c	6	2.21^{ns}	0.07^{ns}	29.90^{ns}	0.006^{ns}	0.04^{ns}
اشتباه c (c error)	36	17.55	0.20	48.53	0.012	0.02

*، ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ و یک درصد؛ ns، عدم اختلاف معنی‌دار. ارقام شامل ظفر، زرفام، دلگان و RGS003 می‌باشد.

* and ** Significant at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively. ns, Not significant. Cultivars were Zafar, Zarfam, Dalgan and RGS003.

جدول ۲- مقایسه میانگین تعدادی از صفات تحت تنش خشکی و محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید در چهار رقم کلزای بهاره

Table 2- Mean comparison of some traits under drought stress and spraying with SA in four cultivars of spring canola

تیمار آبیاری Irrigation treatment	محتوای کاروتنوئید Carotenoid content (mg g^{-1} FW)	محتوای کلروفیل b Chlorophyll b content (mg g^{-1} FW)	محتوای نسبی آب Relative water content	محتوای پرولین Proline content (µmol g^{-1} FW)
عدم تنش Control	0.376 b	1.207 a	78.305 a	9.801 b
تنش در مرحله گلدهی Stress at flowering stage	0.363 b	0.428 b	71.798 b	25.453 b
تنش در مرحله خورجین‌دهی Stress at podding stage	0.438 a	0.5 b	76.952 a	44.012 a

محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک Spraying with SA	محتوای کربوهیدرات محلول Soluble carbohydrate content (mg g^{-1} DW)	محتوای کلروفیل کل Total chlorophyll content (mg g^{-1} FW)	محتوای کلروفیل a Chlorophyll a content (mg g^{-1} FW)	محتوای پرولین Proline content (µmol g^{-1} FW)
شاهد 0 ppm SA	24.902 b	1.911 b	1.237 b	22.798 b
۱۵۰ پی‌پی‌ام 150 ppm	25.254 a	2.136 a	1.385 a	30.046 a

ارقام کلزا Canola cultivars	محتوای پراکسید هیدروژن H_2O_2 content (µmol g^{-1} FW)	محتوای کاروتنوئید Carotenoid content (mg g^{-1} FW)	محتوای کلروفیل b Chlorophyll b content (mg g^{-1} FW)
ظفر Zafar	1.327 b	0.350 b	0.499 b
زرفام Zarfam	1.383 b	0.416 a	0.727 a
دلگان Dalgan	1.526 a	0.350 b	0.799 a
RGS003	1.386 b	0.454 a	0.822 a

مقادیر با حروف کوچک یکسان در هر ستون، فاقد اختلاف معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

Values with the same lower case letters in a column are not significantly different at $P < 0.05$.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تمامی اثرات متقابل دوگانه تأثیر معنی‌داری بر میزان محتوی مالون دی‌آلدهید داشتند (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نیز نشان داد تنش خشکی به‌ویژه در مرحله گلدهی باعث افزایش معنی‌دار این صفت گردید ولی محلول‌پاشی باعث کاهش معنی‌دار محتوای MDA در هر دو مرحله اعمال تنش گردید (۱۸/۹۷ و ۲۱/۱۶درصد کاهش به‌ترتیب در مرحله گلدهی و خورجین‌دهی) (جدول ۳). بیشترین محتوای MDA در شرایط تنش خشکی در مرحله گلدهی به‌دست آمد که ارقام هم در این مرحله تحت تنش خشکی تفاوت معنی‌داری نداشتند اما ارقام ظفر، زرفام و RGS003 در شرایط تنش خشکی در مرحله خورجین‌دهی در مقایسه با رقم دلگان، کمترین محتوای MDA را داشتند (جدول ۴). محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک در کل باعث کاهش معنی‌دار محتوای MDA در تمامی ارقام گردید ولی این کاهش در ارقام ظفر و RGS003 قابل ملاحظه بود (جدول ۵).

محیط‌های تنش‌زا باعث القاء تولید انواع اکسیژن فعال (ROS) مثل رادیکال‌های سوپراکسید، H_2O_2، OH^- و غیره در گیاهان می‌شود و نهایتاً باعث ایجاد تنش اکسیداتیو در گیاهان می‌شود (Asada, 1994). این افزایش سطح ROS در گیاهان باعث آسیب اکسیداتیو به مولکول‌های زیستی از جمله لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک شده و نهایتاً باعث تغییر در هموستازی ری‌داکس می‌شود (Smirnoff, 1993). مطالعات نشان می‌دهد موقعی که SA در غلظت‌های مناسب استفاده می‌شود باعث افزایش در راندمان سیستم آنتی‌اکسیدانتی گیاهان می‌شود (Knorzer *et al.*, 1999). مشاهده شده که تیمار SA باعث کاهش آسیب ناشی از تنش اکسیداتیو در گیاهان توتون و خیار می‌شود (Strobel and Kuo, 1995). به علاوه، تیمار با SA منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت از جمله کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در بوته‌های گوجه‌فرنگی تحت تنش خشکی می‌شود (Hayat *et al.*, 2008). همچنین در مطالعه‌ای دیگر (Krantev *et al.*, 2008) با کاربرد خارجی SA، افزایش در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز با کاهش در فعالیت کاتالاز را در بوته‌های ذرت مشاهده نمود. کاربرد خارجی SA همچنین منجر به کاهش آسیب اکسیداتیو به غشاهای سلولی بوته‌های جو گردید که ممکن است با افزایش تحمل گیاه به کمبود آب ارتباط معنی‌داری داشته باشد

(Bandurska and Stroinski, 2005). بنابراین می‌توان گفت که SA از طریق بهبود سیستم آنتی‌اکسیدانتی منجر به کاهش در سطوح ROS از جمله H_2O_2 و نهایتاً منجر به بهبود عملکرد تحت تنش می‌شود.

محتوای کلروفیل a، b و کل: نتایج نشان داد که اثـر متقابـل تـنش خشـکی و ارقـام تفـاوت معنـی‌داری در سـطح یـک درصـد و همچنین محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک تأثیر معنی‌داری بر محتوای کلروفیل داشت (جـدول ۶). مقایسـه میـانگین داده‌هـا نشـان داد کـه محلول‌پاشی، تأثیر بسیار مثبتی بر محتوای کلروفیل داشـت (افـزایش ۱۱/۷۷ درصدی) (جدول ۲). تـنش خشـکی در هـر دو مرحلـه باعـث کاهش معنی‌دار در محتوای کلروفیل گردید و ارقـام زرفـام، دلگـان و RGS003 بیشترین و رقم ظفر کمترین محتوای کلروفیل را داشـت و ارقام در شرایط تنش در هر دو مرحله تفاوت آن‌چنانی نداشتند (جدول ۴). خـداری (Khodary, 2004) در مطالعـه خـود بـر گیـاه ذرت محلول‌پاشی شده بـا SA، افـزایش معنـی‌داری را در رشـد، محتـوای رنگیزه‌ها و سرعت فتوسنتزی گزارش نمود.

جدول ۳- مقایسه میانگین تعدادی از صفات تحت تنش خشکی و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک در ارقام بهاره کلزا

Table 3- Mean comparison of some traits under drought stress and spraying with SA in cultivars of spring canola

تیمار آبیاری Irrigation treatment	محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک SA Spraying	تعداد خورجین number of pod plant^{-1}	عملکرد دانه Grain Yield (t ha^{-1})	محتوای مالون‌دی‌آلدهید MDA content (nmol g^{-1} FW)	محتوای پراکسید هیدروژن H_2O_2 content (µmol g^{-1} FW)
عدم تنش Control	0 ppm SA شاهد	55.167 a	3.122 b	1.098 d	0.575 d
	150 ppm ۱۵۰ پی‌پی‌ام	52.583 ab	3.874 a	0.976 d	0.539 d
تنش در مرحله گلدهی Stress at flowering	0 ppm SA شاهد	33.833 d	1.054 d	2.737 a	2.229 a
	150 ppm ۱۵۰ پی‌پی‌ام	40.917 c	1.297 d	2.218 b	1.923 b
تنش در مرحله خورجین‌دهی Stress at podding stage	0 ppm SA شاهد	50.917 b	2.344 c	2.042 b	1.748 b
	150 ppm ۱۵۰ پی‌پی‌ام	52.833 ab	3.093 b	1.610 c	1.422 c

مقادیر با حروف کوچک یکسان در هر ستون، فاقد اختلاف معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

Values with the same lower case letters in a column are not significantly different at $P < 0.05$.

جدول ٤- مقایسه میانگین تعدادی از صفات تحت تنش خشکی در چهار رقم کلزای بهاره

Table 4- Mean comparison of some traits under drought stress in four cultivars of spring canola

تیمار آبیاری Irrigation treatment	ارقام کلزا Canola cultivars	تعداد خورجین number of pod plant^{-1}	عملکرد دانه Grain Yield (t ha^{-1})	محتوای کلروفیل a Chlorophyll a content (mg g^{-1} FW)	محتوای کلروفیل کل Total chlorophyll content (mg g^{-1} FW)	محتوای مالون-دی‌آلدهید MDA content (nmol g^{-1} FW)
عدم تنش Control	Zafar ظفر	55.33 b	3.715 a	1.067 cde	1.873 bc	0.871 f
	Zarfam زرفام	54.67 b	3.599 a	2.071 a	3.276 a	1.110 e
	Dalgan دلگان	44.00 d	2.929 bc	2.029 a	3.336 a	1.087 ef
	RGS003	61.50 a	3.749 a	2.24 a	3.759 a	1.081 ef
تنش در مرحله گلدهی Stress at flowering stage	Zafar ظفر	40.83 d	1.013 d	0.597 f	0.929 e	2.310 c
	Zarfam زرفام	44.00 d	1.289 d	0.806 ef	1.221 de	2.590 ab
	Dalgan دلگان	32.83 e	1.183 d	1.096 cd	1.585 bcd	2.645 a
	RGS003	31.83 e	1.219 d	1.066 cde	1.547 bcd	2.365 bc
تنش در مرحله خورجین‌دهی Stress at podding stage	Zafar ظفر	54.50 b	3.091 b	0.975 de	1.337 cde	1.619 d
	Zarfam زرفام	54.00 b	2.509 c	1.038 cde	1.603 bcd	1.694 d
	Dalgan دلگان	46.67 cd	2.741 bc	1.277 bc	1.883 bc	2.178 c
	RGS003	52.33 bc	2.535 c	1.472 b	1.944 b	1.813 d

مقادیر با حروف کوچک یکسان در هر ستون، فاقد اختلاف معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

Values with the same lower case letters in a column are not significantly different at $P < 0.05$.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک و ارقام بهاره کلزا

Table 5- Mean comparison of spraying with SA, drought stress and cultivars of spring canola

محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک SA Spraying	ارقام Cultivars	روغن بذر Seed oil (%)	محتوای مالون‌دی‌آلدهید MDA content (nmol g^{-1} FW)
عدم محلول‌پاشی 0 ppm SA	Zafar ظفر	41.111 c	1.770 c
	Zarfam زرفام	40.444 c	1.905 abc
	Dalgan دلگان	42.000 bc	2.114 a
	RGS003	41.556 bc	2.047 ab
۱۵۰ پی‌پی‌ام 150 ppm	Zafar ظفر	44.667 a	1.430 d
	Zarfam زرفام	44.444 a	1.690 c
	Dalgan دلگان	43.333 ab	1.826 bc
	RGS003	44.778 a	1.458 d

مقادیر با حروف کوچک یکسان در هر ستون، فاقد اختلاف معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

Values with the same lower case letters in a column are not significantly different at $P < 0.05$.

حیات و همکاران (Hayat *et al.*, 2005) نیز افزایش در محتوای رنگیزه‌ها را در گیاهچه‌های گندم تیمار شده بـا SA گـزارش نمودنـد. گـای و همکـاران (Ghai *et al.*, 2002) نیـز افـزایش در محتـوای رنگیزه‌ها را در کلزا در شرایط تیمار با SA گزارش نمود. به هـر حـال، گزارش‌های متضادی نیز نشان می‌دهد که در گیاهان تیمـار شـده بـا SA، کاهش در محتوای کلروفیل مشاهده می‌شـود (Akandhi and Ramanjuam, 1997). سینگ و اوشـا (Singh and Usha, 2003) بوته‌های گندم تحت تنش خشکی را با SA محلـول‌پاشـی نمودنـد و گزارش کردند که تحت این شرایط محتوای کلروفیل و فعالیت آنـزیم رابیسکو همراه با افزایش در فعالیت آنزیم‌های آنتـی‌اکسـیدانت بهبـود یافته و در نهایت تجمع ماده خشک افزایش می‌یابد.

جدول ٦- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در چهار رقم کلزای بهاره تحت تنش خشکی و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک

Table 6- Analysis of variance (ANOVA) of studied traits in four spring cultivar canola under drought stress and spraying with salicylic acid

منابع تغییرات (Source)	درجه آزادی d.f	محتوای کلروفیل a Chlorophyll a content	محتوای کلروفیل b Chlorophyll b content	محتوای کلروفیل کل Total chlorophyll content	محتوای کاروتنوئید Carotenoid content
بلوک	2	0.151^{*}	0.079^{ns}	0.448^{ns}	0.060^{*}
فاکتور a (تیمار آبیاری) (Factor a) (Irrigation treatment)	2	5.810^{**}	4.444^{**}	20.166^{**}	0.039^{**}
اشتباه a (a error)	4	0.155	0.053	0.156	0.039
فاکتور b (محلول‌پاشی با SA) (Factor b) (Spray with SA)	1	0.398^{**}	0.105^{ns}	0.913^{**}	0.020^{ns}
a × b	2	0.008^{ns}	0.006^{ns}	0.002^{ns}	0.007^{ns}
اشتباه b (b error)	6	0.006	0.015	0.020	0.015
فاکتور c (ارقام) (Factor c) (Cultivars)	3	1.741^{**}	0.391^{**}	3.771^{**}	0.048^{**}
a × c	6	0.300^{**}	0.122^{ns}	0.652^{**}	0.023^{*}
b × c	3	0.014^{ns}	0.002^{ns}	0.007^{ns}	0.003^{ns}
a × b × c	6	0.006^{ns}	0.002^{ns}	0.010^{ns}	0.006^{ns}
اشتباه c (c error)	36	0.027	0.081	0.115	0.007

*، ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ و یک درصد؛ ns، عدم اختلاف معنی‌دار. ارقام شامل ظفر، زرفام، دلگان و RGS003 می‌باشد.

* and ** Significant at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively. ns, Not significant. Cultivars were Zafar, Zarfam, Dalgan and RGS003.

محتوای کاروتنوئید: نتایج نشان داد که اثر متقابل تنش رطوبتی، محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک و ارقام تفاوت معنی‌داری بر محتوای کارتنوئید کلزا نداشتند. اما تنش رطوبتی و ارقام به‌عنوان اثرات اصلی تاثیر معنی‌داری بر محتوای کاروتنوئید داشتند (جدول ۶). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان کاروتنوئید در شرایط تنش در مرحله خورجین‌دهی به‌دست آمد (جدول ۲). در بین ارقام بیشترین میزان کارتنوئید مربوط به رقم RGS003 حاصل شده است (جدول ۲). مطالعات نشان داده که در ارقام کلزا، تنش رطوبتی در مراحل رشد رویشی، گلدهی و خورجین‌دهی سبب کاهش میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها در مقایسه با شرایط آبیاری عدم تنش رطوبتی شده است (Din *et al.*,2011; Qaderi *et al.*, 2006). گزارش‌های دیگری نشان داده که تنش خشکی به دلیل تولید انواع اکسیژن فعال در تیلاکوئیدها سبب کاهش غلظت کلروفیل‌ها و کاروتنوئید در گیاهان می‌گردد (Farooq *et al.*,2009; Jaleel *et al.*, 2009).

تعداد خورجین: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک و همچنین تنش خشکی با ارقام در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین تعداد خورجین مربوط به شرایط فاریاب هم در حالت محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک و بدون محلول‌پاشی بود. همچنین بیشترین تعداد خورجین در بوته‌ها با محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک تحت تنش از مرحله خورجین‌دهی و بدون تنش مشاهده شد و کمترین آن در شرایط تنش در مرحله گلدهی به‌دست آمد (جدول ۳). بیشترین تعداد خورجین در مرحله اول مربوط به رقم RGS003 در شرایط عدم تنش و در مرحله بعدی مربوط به ارقام ظفر، زرفام در شرایط عدم تنش و تنش در مرحله خورجین‌دهی بود و کمترین آن در رقم دلگان مشاهده گردید (جدول ۴). تعداد خورجین در بوته مهم‌ترین اجزای عملکرد در گیاه کلزا به حساب می‌رود (Angadi *et al.*, 2003). مطالعات نشان داده است که تنش خشکی باعث کاهش تعداد خورجین در بوته می‌شود (Gan *et al.*, 2009). تنش خشکی در مرحله گلدهی به‌واسطه ریزش شدیدتر گل سبب کاهش قابل توجه تعداد خورجین می‌گردد (Sinaki *et al.*, 2007). به عبارتی تنش خشکی از طریق کوتاه نمودن دوره گلدهی، عدم باروری تعدادی از گل‌ها، ریزش آن‌ها، کاهش تولید مواد فتوسنتزی جهت انتقال به خورجین‌های تازه شکل گرفته و در حال رشد گیاه، کاهش تعداد خورجین در بوته را به دنبال خواهد داشت.

تعداد دانه در خورجین: نتایج نشان داد که اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی، محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک و ارقام تأثیر معنی‌داری بر صفت تعداد دانه در خورجین داشتند (جدول ۷). جدول مقایسه میانگین داده‌ها نیز نشان داد که بیشترین تعداد دانه در خورجین در ابتدا مربوط به شرایط عدم تنش خشکی و سپس مربوط به تنش در مرحله خورجین‌دهی و با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک است و ارقام دلگان و RGS003 واکنش بهتری به محلول‌پاشی در هر دو مرحله نشان داده است (جدول ۸). تعداد دانه در خورجین و وزن دانه از اجزای تشکیل‌دهنده عملکرد در کلزا می‌باشند (Angadi *et al.*, 2003). گزارش‌ها حاکی از کاهش تعداد دانه در خورجین گیاه کلزا در اثر تنش کم آبی می‌باشد (Ma *et al.*, 2006). توحیدی مقدم و همکاران (Tohidi Moghadam *et al.*, 2011) نیز کاهش محسوس تعداد دانه در خورجین را در شش رقم کلزا از ۲۷/۸ عدد در تیمار شاهد به ۲۳/۴ عدد در شرایط تنش کم آبی در مراحل گلدهی و خورجین‌دهی گزارش کرده‌اند.

نتایج حاضر از این تحقیق نشان می‌دهد که تفاوتی بین تعداد دانه در خورجین در تیمارهای عدم تنش و تنش خشکی در مرحله خورجین‌دهی معنی‌دار نبود (جدول ۸). به نظر می‌رسد که وقوع تنش در مرحله گلدهی به‌واسطهٔ عدم تلقیح مناسب و سقط آن‌ها باعث افزایش پوکی خورجین‌ها و در نتیجه کاهش تعداد دانه در آن‌ها شده است. از طرفی نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که محلول‌پاشی با SA احتمالاً از طریق بهبود عملکرد فتوسنتزی و افزایش رشد منجر به افزایش تعداد دانه در خورجین گردیده است.

وزن هزار دانه: نتایج نشان داد که اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی، محلول‌پاشی و ارقام تأثیر معنی‌دای بر صفت وزن هزار دانه داشتند (جدول ۷). جدول مقایسه میانگین داده‌ها نیز نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه در ابتدا مربوط به شرایط عدم تنش و سپس مربوط به تنش در مرحله خورجین‌دهی با محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک است، ارقام ظفر، RGS003 و در مواری دلگان واکنش بهتری به محلول‌پاشی در هر دو شرایط نشان دادند (جدول ۸). مطالعات نشان می‌دهد که تنش خشکی به‌واسطه بستن روزنه‌ها و کاهش سرعت فتوسنتز، منجر به تولید دانه‌های کوچک‌تر و در نتیجه کاهش وزن هزار دانه کلزا می‌شود (Sadagat *et al.*, 2003). به نظر می‌رسد که تنش خشکی در مراحل گلدهی و خورجین‌دهی از طریق اختلال در فتوسنتز و کاهش سنتز مواد آسیمیلاتی، چروکیدگی و کاهش وزن دانه را موجب شده است.

جدول ۷- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در چهار رقم کلزای بهاره تحت تنش خشکی و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک

Table 7- Analysis of variance (ANOVA) of studied traits in four spring cultivar canola under drought stress and spraying with salicylic acid

منابع تغییرات (Source)	درجه آزادی d.f	تعداد خورجین number of pod plant^{-1}	تعداد دانه در خورجین Number of grains pod^{-1}	وزن هزار دانه 1000 Seed Weight	عملکرد دانه Seed yield	روغن بذر Seed oil
بلوک	2	79.63*	0.29^{ns}	0.004^{ns}	0.003^{ns}	0.88^{ns}
فاکتور a (تیمار آبیاری) (Factor a) (Irrigation treatment)	2	1946.00**	488.54**	1.582**	33.526**	0.88^{ns}
اشتباه a (a error)	4	24.63	1.33	0.009	0.046	2.13
فاکتور b (محلول‌پاشی با SA) (Factor b) (SA Spraying)	1	82.35*	4.01^{ns}	1.628**	6.092**	165.01**
a × b	2	140.39**	8.18**	0.008^{ns}	0.516**	0.68^{ns}
اشتباه b (b error)	6	2.54	1.21	0.008	0.051	1.46
فاکتور c (ارقام) (Factor c) (Cultivars)	3	359.68**	22.46**	0.102**	0.324**	1.72^{ns}
a × c	6	124.50**	8.21**	0.042**	0.540**	1.36*
b × c	3	2.20^{ns}	7.94**	0.058**	0.128^{ns}	6.20^{ns}
a × b × c	6	8.74^{ns}	6.22**	0.048**	0.085^{ns}	2.53^{ns}
اشتباه c (c error)	36	13.44	1.15	0.005	0.072	1.66

*، ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ و یک درصد؛ ns، عدم اختلاف معنی‌دار. ارقام شامل ظفر، زرفام، دلگان و RGS003 می‌باشد.

* and ** Significant at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively. ns, Not significant. Cultivars were Zafar, Zarfam, Dalgan and RGS003.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک و تنش خشکی و ارقام بهاره کلزا

Table 8- Mean comparison of spraying with SA, drought stress and cultivars of spring canola

تیمار آبیاری Irrigation treatment	محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک SA Spraying	ارقام Cultivars	تعداد دانه در خورجین Number of grains pod^{-1}	وزن هزار دانه 1000 seed weight (g)
عدم تنش Control	شاهد 0 ppm SA	Zafar ظفر	16 cde	3.47 ef
		Zarfam زرفام	15 ef	3.26 h
		Dalgan دلگان	18 ab	3.64 bcd
		RGS003	17 bcd	3.45 ef
	۱۵۰ پی‌پی‌ام 150 ppm	Zafar ظفر	16 cde	3.79 a
		Zarfam زرفام	15 ef	3.68 abc
		Dalgan دلگان	15 def	3.69 abc
		RGS003	17 bcd	3.723 ab
تنش در مرحله گلدهی Stress at flowering	عدم محلول‌پاشی 0 ppm SA	Zafar ظفر	7 ij	2.93 jk
		Zarfam زرفام	7 j	2.87 k
		Dalgan دلگان	7 ij	2.88 k
		RGS003	8 ij	3..3 ij
	۱۵۰ پی‌پی‌ام 150 ppm	Zafar ظفر	8 ij	3.43 fg
		Zarfam زرفام	8 ij	3.24 h
		Dalgan دلگان	9 i	3.07 i
		RGS003	11 h	3.32 gh
تنش در مرحله خورجین‌دهی Stress at podding stage	عدم محلول‌پاشی 0 ppm SA	Zafar ظفر	13 gh	3.59 cd
		Zarfam زرفام	18 abc	3.30 h
		Dalgan دلگان	18 ab	3.28 h
		RGS003	15 ef	3.12 i
	۱۵۰ پی‌پی‌ام 150 ppm	Zafar ظفر	14 fg	3.70 abc
		Zarfam زرفام	14 fg	3.55 de
		Dalgan دلگان	19 a	3.46 ef
		RGS003	18 ab	3.79 a

مقادیر با حروف کوچک یکسان در هر ستون، فاقد اختلاف معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

Values with the same lower case letters in a column are not significantly different at P < 0.05.

عملکرد دانه: نتایج نشان داد که اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک و همچنین تنش خشکی و ارقام در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار عدم تنش و تنش رطوبتی در مرحله خورجین‌دهی به‌ویژه در حالت محلول‌پاشی بود (افزایش ۳۱/۹۶ درصدی) و کمترین آن در شرایط تنش خشکی در مرحله گلدهی به‌دست آمد (جدول ۳). همچنین تنش در مرحله گلدهی، بیشترین تأثیر کاهشی را بر عملکرد دانه در ارقام داشت و بیشترین عملکرد دانه مربوط به ارقام ظفر، زرفام و RGS003 در شرایط عدم تنش و در مرحله بعدی مربوط به ارقام ظفر و دلگان در شرایط تنش در مرحله خورجین‌دهی بود (جدول ۴).

با در معرض قرارگیری گیاهان در شرایط تنش خشکی، عملکرد فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان دچار اختلال می‌شود که این عمل عمدتاً از طریق کاهش در تورژسانس، رشد، سرعت فتوسنتزی، هدایت روزنه‌ای و آسیب به اجزای سلولی صورت می‌گیرد (Janda *et al.*, 2007). مطالعات نشان می‌دهد که SA نقش کلیدی در تحمل گیاهان به تنش خشکی دارد در مطالعه‌ای، حیات و همکاران (Hayat *et al.*, 2008) رشد گیاهان گوجه‌فرنگی تیمار شده با SA تحت تنش خشکی مطالعه نمود و گزارش کرد که تحت تنش، پارامترهای فتوسنتزی شاخص پایداری غشاء پتانسیل آب برگ، فعالیت آنزیم‌های نیترات ریداکتاز و کربونیک آنهیدراز، کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد در حالی‌که محتوای پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت افزایش می‌یابد. به هر حال، تیمار گیاهان تحت تنش با SA منجر به افزایش پارامترهای ذکر شده گردید.

گزارش‌ها نشان می‌دهد که گیاهان *Cavica papaya* تیمار شده با SA، افزایش معنی‌داری در میوه‌دهی و عملکرد داشتند (Martin-Mex *et al.*, 2005). در مطالعه دیگری نیز افزایش در عملکرد خیار و گوجه‌فرنگی تیمار شده با غلظت کمتر SA گزارش شده است (Martin-Mex *et al.*, 2007). کاربرد خارجی SA در سویا نیز منجر به افزایش گلدهی و تشکیل غلاف می‌شود (Kumar *et al.*,1999). بنابراین ممکن است که SA به‌عنوان تنظیم‌کننده درونی عمل کند و رشد و تولید گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد.

مطالعات نشان می‌دهد که کمبود آب در مرحله گلدهی باعث از بین رفتن گلچه‌ها و نیز کاهش شدید در مواد فتوسنتزی و نهایتاً کاهش شدید در عملکرد می‌شود. اما کمبود آب در دوره پر شدن دانه از طریق کاهش وزن دانه در بوته، کاهش محتوای نسبی آب برگ و هدایت روزنه‌ها، باعث کاهش عملکرد دانه در کلزا می‌شود (Pasban Eslam, 2014). مطالعات دیگری نشان می‌دهد که کاهش عملکرد می‌تواند ناشی از تقسیم سلولی (Brooks, 1982)، کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی فتواسیمیلات‌ها در دانه (Blum, 2005)، کاهش دوره رشد دانه (Ahamdi and Baker, 2001) در شرایط تنش باشد.

درصد روغن بذر: اثرات متقابل محلول‌پاشی و ارقام بر صفت درصد روغن بذر تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد داشتند ولی تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر روی این صفت نداشت (جدول ۷). مقایسه میانگین داده‌ها نیز نشان می‌دهد که محلول‌پاشی باعث بهبود معنی‌دار این صفت در تمامی ارقام به‌ویژه ظفر، زرفام و RGS003 گردید (به طور میانگین ۷/۳۳ درصد افزایش را نشان داد) (جدول ۵).

مطالعات متعددی نشان می‌دهد که تنش خشکی به‌واسطه کاهش اندازه دانه سبب کاهش درصد روغن دانه می‌شود (Walton *et al.*,1998) ولی در بررسی زارعی و همکاران (Zarei *et al.*, 2010) مشخص گردید که تنش خشکی کاهش چشمگیری بر درصد روغن دانه نداشت.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که تنش خشکی در مرحله گلدهی اثرات منفی شدیدتری بر ویژگی‌های مورفولوژیک به‌ویژه عملکرد دانه و صفات فیزیولوژیک در مقایسه با تنش خشکی در مرحله خورجین‌دهی گردید. همچنین نتایج نشان داد که محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک منجر به افزایش صفات تعداد خورجین، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در تنش خشکی در مرحله خورجین‌دهی و عدم تنش خشکی گردید. تیمار تنش خشکی در مرحله گلدهی منجر کاهش محتوای نسبی آب برگ گردید. تنش خشکی در هر دو مرحله منجر به کاهش محتوای کلروفیل a، b و کل گردید و ارقام زرفام، دلگان و RGS003 بیشترین محتوای را در این خصوص داشتند. همچنین محتوای کاروتنوئید در شرایط تنش خشکی در مرحله خورجین‌دهی افزایش یافت و ارقام زرفام و RGS003 بیشترین محتوای کاروتنوئید را به خود اختصاص دادند. اعمال تنش منجر به افزایش معنی‌دار در محتوای H_2O_2 و MDA در هر دو مرحله گردید اما میزان این ترکیبات در شرایط تنش رطوبتی در مرحله خورجین‌دهی در مقایسه با تنش رطوبتی در مرحله گلدهی کمتر بود و ارقام زرفام، ظفر و RGS003 کمترین محتوی H_2O_2 و MDA را داشتند. محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک نیز منجر به بهبود محتوای پرولین، کربوهیدرات برگ و روغن بذر گردید. در کل، محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید توانست تا حدی اثرات منفی تنش خشکی را برطرف و منجر به بهبود عملکرد و کیفیت گیاه کلزا گردیده است.

References

1. Ahmadi, A., and Baker, D. A. 2001. The effect of water stress on grain filling processes in wheat. Journal of Agricultural Science 136 (03): 257-269.
2. American Oil Chemists' Society. 1983. Official and tentative methods of the American Oil Chemists' Society. Urbana, AOCS Champaign.
3. Anandhi, S., and Ramanujam, M. P. 1997. Effect of salicylic acid on black gram (*Vigna mungo*) cultivars. Industrial Journal of Plant Physiology 2: 138-141.
4. Angadi, S. V., Cutforth, H. W., McConkey, B. G., and Gan, Y. 2003. Yield adjustment by canola grown at different plant populations under semiarid conditions. Crop Science 43: 1358-1366.
5. Asada, K. 1994. Production and action of active oxygen species in photosynthetic tissues. In: Foyer, C. H., Mullineaux, P. M. (Eds.) Causes of Photooxidative stress and amelioration of defense system in plants. C R C. Boca Ration. pp. 77-104.
6. Bandurska, H., and Stroinski, A. 2005. The effect of salicylic acid on barley response to water deficit. Acta Physiologia Plantarum 27: 379-386.
7. Barr, H. D., and Weatherley, P. E. 1962. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficit in leaves. Australian Journal of Biological Sciences 15: 413-428.
8. Bates, L. S., Waldern, R. P., and Tear, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.
9. Blum, A. 2005. Drought resistance, water-use deficiency, and yield potential–are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? Australian Journal of Agricultural Research 56: 1159-1168.
10. Bohnert, H. J., and Jensen, R. G. 1996. Strategies for engineering water-stress tolerance in plants. Trends in Biotechnology 14: 89-97.
11. Din, J., Khan, S. U., Ali, I., and Gurmani, A. R. 2011. Physiological and agronomic response of canola varieties to drought stress. Journal of Animal and Plant Sciences 21 (1): 78-82.
12. Downey, R. K. 1990. Canola: A quality *Brassica* oilseed. p. 211-215. In: J. Janick and J.E. Simon (eds). Advances in new crops. Timber Press, Portland.
13. Brooks, A, Jenner, C. F., and Aspinall, D. 1982. Effects of water deficit on endosperm starch granules and on grain physiology of wheat and barley. Functional Plant Biology 9 (4): 423-436.
14. FAO. 2011. Food outlook. Global Market Analysis. Available at http://www.fao.org.
15. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., and Basra, S. M. A. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development 29: 185-212.
16. Gan, Y., Campbell, C. A., Liu, L., Basnyat, P., and McDonald, C. L. 2009. Water use and distribution profile under pulse and oilseed crops in semiarid northern high latitude areas. Agricultural Water Management 96: 337-348.
17. Ghai, N., Setia, R. C., and Setia, N. 2002. Effects of paclobutrazol and salicylic acid on chlorophyll content, hill activity and yield components in *Brassica napus* L. (cv. GSL-1). Phytomorphology 52: 83-87.
18. Hamada, A. M., and Al-Hakimi, A. M. A. 2001. Salicylic acid versus salinity-drought-induced stress on wheat seedlings. Rostlinná výroba 47: 444-450.
19. Hayat, S., Fariduddin, Q., Ali, B., and Ahmad, A. 2005. Effect of salicylic acid on growth and enzyme activities of wheat seedlings. Acta Agronomica Hungarica 53: 433-437.
20. Hayat, S., Hasan, S. A., Fariduddin, Q., and Ahmad, A. 2008. Growth of tomato (*Lycopersicom esculentum*) in response to salicylic acid under water stress. Journal of Plant Interactions 3 (4): 297-304.
21. Heath, R. L., and Packer, L. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics 125: 189-198.
22. Hussein, M. M., Balbaa, L. K., and Gaballah, M. S. 2007. Salicylic acid and salinity effects on growth of maize plants. Research journal of agriculture and biological sciences 3 (4): 321-328.
23. Jaleel, C. A., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Sankar, B., Gopi, R., Somasundaram, R., and Panneerselvam, R. 2007. Alterations in osmoregulation, antioxidant enzymes and indole alkaloid levels in *Catharanthus roseus* exposed to water deficit. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 59: 150-157.
24. Janda, T., Horvath, G., Szalai, G., and Paldi, E. 2007. Role of salicylic acid in the induction of abiotic stress tolerance. In: Hayat, S., Ahmad, A. (Eds.), Salicylic Acid, A plant Hormone. Springer Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
25. Khan, M. I. R., Fatma, M., Per, T. S., Anjum, N. A., and Khan, N. A. 2015. Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. Front Plant Science 6: 462.
26. Khodary, S. F. A. 2004. Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt stressed maize plants. International Journal of Agriculture and Biology 6: 5-8.
27. Khokon, A., Okuma, E., Hossain, M., Munemasa, S., Uraji, M., Nakamura, Y., Mori, I. C., and Murata, Y. 2011. Involvement of extracellular oxidative burst in salicylic acidinduced stomatal closure in *Arabidopsis*. Plant, Cell & Environment 34: 434-443.

28. Knorzer, O. C., Lederer, B., Durner, J., and Boger, P. 1999. Antioxidative defense activation in soybean cells. Physiologia Plantarum 107: 294-302.
29. Korkmaz, A., Uzunlu, M., and Demirkiran, A. R. 2007. Treatment with acetyl salicylic acid protects muskmelon seedlings against drought stress. Acta Physiologia Plantarum 29: 503-508.
30. Krantev, A., Yordanova, R., Janda, T., Szalai, G., and Popova, L. 2008. Treatment with salicylic acid decreases the effect of cadmium on photosynthesis in maize plants. Journal of Plant Physiology 165: 920-931.
31. Kumar, A., and Singh, D. P. 1998. Use of physiological indices as a screening technique for drought tolerance in oil seed Brassica species. Annals of Botany 81: 413-420.
32. Kumar, P., Dube, S. D., and Chauhan, V. S. 1999. Effect of salicylic acid on growth, development and some biochemical aspects of soybean (*Glycine max* L. Merrill). Indian Journal of Plant Physiology 4: 327-330.
33. Lichtenthaler, H. K., and Wellburn, A. R. 1983. Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b in leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions 11: 591-602.
34. Ma, Q., Niknam, S. R., and Turner, D.W. 2006. Response of osmotic adjustment and *B. juncea* to soil water deficit at different growth stages. Australian Journal of Agricultural Research 57 (2): 221-226.
35. Martin-Mex, R., Villanueva-Couoh, E., Herrera-Campos, T., and Larque-Saavedra, A. 2005. Positive effect of salicylates on the flowering of African violet. Scientia Horticulturae 103: 499-502.
36. Moradshahi, A., Salehi Eskandari, B., and Kholdbarin, B. 2004. Physiological responses of rape (*Brassica napus*) to drought stress in vitro conditions. Iranian Journal of Science and Technology 28 (A1): 181.
37. Mori, I. C., Pinontoan, R., Kawano, T., and Muto, S. 2001. Involvement of superoxide generation in salicylic acid-induced stomatal closure in *Vicia faba*. Plant and Cell Physiology 42: 1383-1388.
38. Németh, M., Janda, T., Horváth, E., Páldi, E., and Szalai, G. 2002. Exogenous salicylic acid increases polyamine content but may decrease drought tolerance in maize. Plant Science 162: 569-574.
39. Pasban Eslam, B. 2014. Study of some physiological indices, seed yield and its components of oilseed rape varieties under drought stress. Journal of Plant Production Research 149-162. (in Persian with English abstract).
40. Qaderi, M. M., Kurepin, L. V., and Reid, D. M. 2006. Growth and physiological responses of canola (*Brassica napus*) to three components of global climate change: temperature, carbon dioxide and drought. Physiologia Plantarum 128: 710-721.
41. Qaiser, H., Shamsul, H. M., and Aqil, A. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment. Environmental and Experimental Botany 68: 14-25.
42. Rao, M. S. S., and Mendham, N. J. 1991. Soil-plant-water relations of rapeseed (*Brassica napus* and *B. campestris*). Camb. Journal of Agricultural Science 117: 197-205.
43. Sadaqat, H. A., Tahir, M. H. N., and Hussain, M. T. 2003. Physiogenetic Aspects of Drought Tolerance in Canola (*Brassica napus*). International Journal of Agriculture and Biology 5 (4): 611-614.
44. Sheikh, F., Tourchi, M., Shakiba, M., Pasban Eslam, B., and Valizadeh, M. 2005. Evaluation of drought tolerance in spring canola cultivars. Journal of Agricultural Science 15 (1): 163-174. (in Persian with English abstract).
45. Sheligl, H. Q. 1986. Die verwertung orgngischer souren durch chlorella lincht. Planta Journal 47-51.
46. Sinaki, J. M., Heravan, E. M., Rad, A. H. S., and Zarei, G. 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science 2 (4): 417-422.
47. Singh, D. P., Singh, P., Kumar, A., and Sharma, H. C. 1985. Transpirational cooling a screening technique for drought tolerance in oilseed *Brassica*. Annals of Botany 56: 815-820.
48. Singh, B., and Usha, K. 2003. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. Plant Growth Regulation 39: 137-141.
49. Smirnoff, N. 1993. The role of active oxygen in response of plants to water deficit and desiccation. New Phytologist 125: 27-58.
50. Strobel, N. E., and Kuc, A. 1995. Chemical and biological inducers of systemic acquired resistance to pathogens protect cucumber and tobacco from damage caused by paraquat and cupric chloride. Phytopathology 85: 1306-1310.
51. Tohidi-Moghaddam, H. R., Zahedi, H., and Ghooshchi, F. 2011. Oil quality of canola cultivars in response to water stress and super absorbent polymer application. Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics) 41 (4): 579-586.
52. Velikova, V., Yordanov, I., and Edreva, A. 2000. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: Protective role of exogenous polyamines. Plant Science 151: 59-66.
53. Vermorel, M., Heaney, R. K., and Fenwick, G. R. 1986. Nutritive value of rapeseed: Effect of individual glucosinolates. Journal of the Science of Food and Agriculture 37: 1197-1202.
54. Walton, G. H. 1998. Variety and environmental impact on canola quality. Department of Agriculture, Western Australia News Letter 11: 3-4.
55. Zarei, G., Shamsi, H., and Dehghani, S. M. 2010. The effect of drought stress on yield, yield components and seed oil content of three autumnal rapeseed cultivars (*Brassica napus* L.). Journal of Research in Agricultural Science 6: 29-37.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 4, Winter. 2019, p. 807-819

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷، ص. ۸۱۹-۸۰۷

Evaluation of the Effects of Drought Stress and Salicylic Acid on Growth and Physiological Parameters in Four Spring Canola Cultivars

H. Mohammadi[1*]- R. Javadzadeh[2]- B. Pasban Eslam[3]- L. Parviz[4]

Received: 29-01-2018
Accepted: 21-07-2018

Introduction

Oilseed canola plant (*Brassica napus* L.) is an important agricultural crop grown primarily for its edible oil. It is well known that abiotic stresses especially drought stress are very restrictive factors for agricultural production around the world. Drought stress affects a vast range of morphological, physiological and biochemical characteristics in plants. However, exogenous application of materials such as salicylic acid (SA) has been regarded as a good alternative to counter the adverse effects of various environmental stresses on plant functions. Salicylic acid is a naturally occurring plant hormone that controls plant growth and induces water deficit tolerance in plants.

Material and Methods

The experiment was carried out as a split split plot layout with three replications in East Azarbaijan Research Center for Agriculture and Natural Resources. Treatments included three level of drought stress (well-watered, drought stress at flowering and podding stages) (as main plot), two level of SA spraying (0 and 150 ppm) (as sub plot) and four cultivars of spring canola (Zafar, Zarfam, Dalgan and RGS003) (as sub-sub plot). The studied traits were included number of pods, number of seeds per pod, 1000 seed weight, grain yield, chlorophyll a, b and total, carotenoid, H_2O_2, MDA, proline, total sugar contents and seed oil percentage. The collected data were analyzed using SAS 9.1 software and means were compared with Duncan test at the 5% and 1% level of probability using MSTATC software.

Results and Discussion

Results indicated that withholding irrigation from flowering stage had a more negative effect on yield components and physiological traits compared to withholding irrigation from podding stage. Withholding irrigation in both stages reduced the content of chlorophyll a, b and total and increased the content of H_2O_2 and MDA. Also, Zarfam and RGS003 cultivars had the highest content of chlorophyll and the lowest content of H_2O_2 and MDA. Salicylic acid (SA) spraying increased 31.79%, 41.1% and 7.33% of proline content, leaf soluble carbohydrate and seed oil, and decreased the content of MDA and H_2O_2 by 16.1% and 18.67% respectively. The results also showed that SA spraying led to 31.96% increase in grain yield under drought stress from podding stage. SA may compensate the negative impacts of drought stress on plant yield and other parameters.

Conclusions

In general, in this experiment, the use of salicylic acid not only improved the morphological and physiological traits of the plant under drought stress, probably through the effect on the antioxidant system but also increased the yield and quality of the cultivars.

Keywords: Growth, Injury indices, Salicylic acid, Withholding irrigation, Yield

1- Associate Professor, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran
2- Graduated M.Sc. Student, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran
3- Associate Professor of Crop and Horticultural Science Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran
4- Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran
(*- Corresponding Author Email: hmohammadi@azaruniv.edu)